

인체측정학적 설계를 위한 대표인체모델 생성 기법의 평가: 격자 기법*

정 기 효 · 유 희 천

포항공과대학교 산업경영공학과

Evaluation of a Representative Human Model Generation Method for Anthropometric Design: Grid Approach

Kihyo Jung, Heecheon You

Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and
Technology, Pohang, Kyungbuk 790-784

ABSTRACT

Representative human models (RHMs), a group of digital human models which represent the people of the target population within a designated percentage (e.g., 95%), are used for ergonomic design and evaluation in virtual environments. The present study evaluated the grid approach, a RHM generation method, in terms of accommodation percentage. RHMs generated from the grid approach dramatically decreased the accommodation percentage of the target population as the number of anthropometric dimensions under consideration increased. For example, the accommodation percentages by RHMs generated by the grid approach were 95% for 3 key dimensions (selected among 10 anthropometric dimensions), 45% for 5 dimensions, and 10% for 10 dimensions. A standardized multiple regression analysis found that this decreasing accommodation percentage was caused by low correlations between key dimensions and other dimensions. The accommodation evaluation process used in the present study is applicable to evaluation of other RHM generation methods.

Keyword: Representative human model, Anthropometric design, Grid approach, Accommodation percentage, Workplace design

1. 서 론

인체측정학적 제품 설계 및 평가에 설계 대상 인구의 인체 크기 다양성을 대표하는 인체모델이 활용된다. 대표인체모델(representative human models)이란 제품 설계 대상 인구의 인체크기 다양성을 통계적으로 적합하게 대표하는 인체모델을 의미한다. 제품 설계 및 평가시 방대한 인체측정자료

를 모두 적용하는 대신 소수의 대표인체모델을 활용하는 방법은 효율적인 제품 설계 및 개발을 위해 필수적이다. 그림 1은 대표인체모델을 사용하여 버스 운전공간의 설계를 가시성, 자세, 도달성 측면에서 평가하는 예를 보여주고 있다(You et al., 1997).

대표인체모델은 적용될 제품 설계의 특성에 따라 인구분포 주변부 또는 산포된 위치에서 생성되고 있다. 인체분포 주변부에서 생성된 대표인체모델(그림 2.a 참조)은 작업공

*이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00683).

교신저자: 유희천

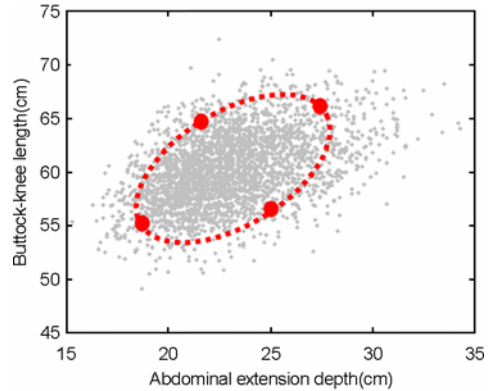
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr



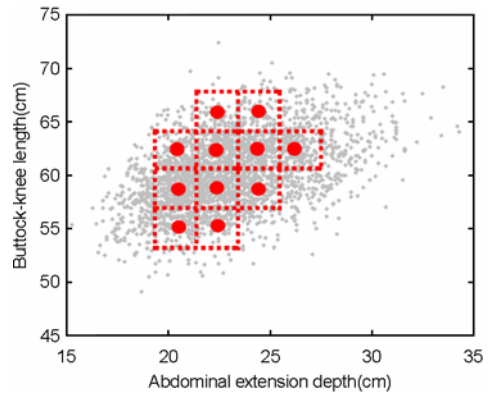
그림 1. SAE 50%ile 인체모형을 이용한 버스 운전공간 평가

간 설계와 같은 단일 치수 설계(one-size design)에 유용하게 활용된다. 예를 들면, Bittner(2000)는 작업장 설계 적용을 위해 요인분석을 이용하여 지정된 인구분포(예: 95%)를 수용하는 경계에서 대표인체모형을 생성하였다. 인구분포 전반에 산포된 대표인체모형(그림 2.b 참조)은 의복과 같이 치수 체계가 있는 설계(multiple-size design)에 적용된다. 예를 들어, Robinette and Annis(1986)와 권오채 외(2004)는 장갑 치수 체계를 개발하기 위해 인구분포 전반에 산포된 격자를 형성한 후, 각 격자에서 한 개씩의 대표인체모형을 생성하였다.

모집단 인구분포 전반에 산포된 대표인체모형을 생성하는 격자 기법(grid approach)은 세 단계(중요변수 선정, 대표격자 선정, 대표격자 별 인체모형 생성) 절차를 통해 대표인체모형을 생성하게 된다(그림 3 참조). 첫째 단계는 인체변수들 간 통계적 연관성 분석을 통해 소수(예: 1~5개)의 인체변수를 중요변수(key dimension)로 선정한다(Gordon and Freill, 1994; Hidson, 1991; Resonblad-Wallin, 1987). 둘



(a) 인구분포 주변부에서 대표인체모형 생성



(b) 인구분포 전반에 산포된 대표인체모형 생성

그림 2. 인구분포 주변부와 전반에 산포된 대표인체모형 생성 예시 (작은 점: 모집단 인구, 큰 점: 대표인체모형)

째 단계는 중요변수와 설계허용공차를 사용해 인구분포 전반에 산포된 격자를 형성한 후, 지정된 수용률(예: 95%)을 만족할 때까지 인체 출현빈도가 상대적으로 높은 격자들을 대표격자(representative grid)로 선정한다. 마지막 단계는

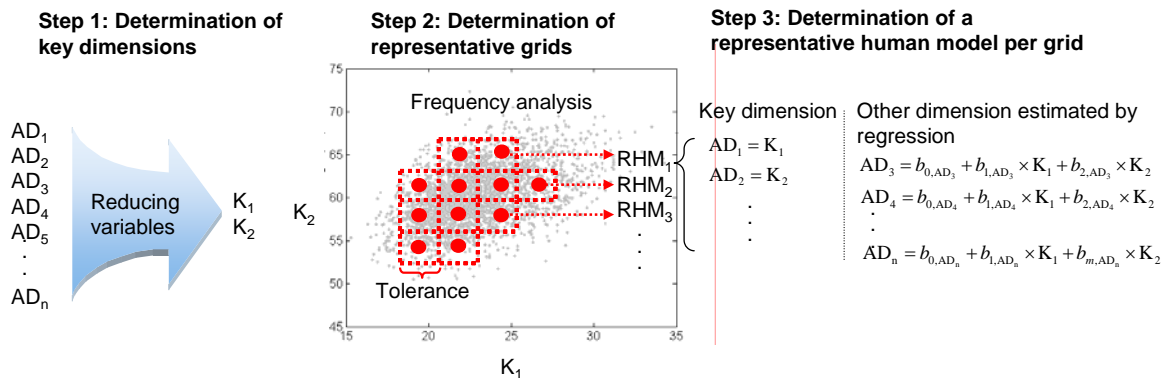


그림 3. 격자 기법을 사용한 대표인체모형 생성 절차 (AD: anthropometric dimension, K: key dimension, RHM: representative human model)

선정된 대표격자에서 대표인체모델을 하나씩 생성하는데, 중요변수의 값은 대표격자의 중심 위치(centroid)로 설정되고, 나머지 인체변수의 값은 중요변수를 사용한 회귀식을 이용해 추정된다.

다중 치수 제품의 설계에 격자 기법이 활용되고 있으나, 격자 기법으로 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률에 대한 정량적 평가는 미흡한 실정이다. 격자 기법은 설계 관련 다변량 인체변수들 중 선정된 중요변수만을 고려하여 대표인체모델을 생성한다. 그로 인해, 중요변수에 포함되지 않은 인체변수들에 대한 인체크기 특성은 대표인체모델 생성시 고려되지 못하는 한계가 있다. 따라서 격자 기법으로 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률을 설계와 관련된 모든 인체변수들에 대해 평가하는 연구가 필요하다. 그러나 기존 연구에서는 대표인체모델 생성시 고려된 중요변수에 대해서만 수용률(accommodation percentage) 또는 손실 함수(loss function)를 평가하고 있어(Rosenblad-Wallin, 1987; McCulloch et al., 1998), 설계와 관련된 다른 인체변수에 대한 평가는 미흡한 실정이다.

본 연구는 격자 기법으로 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률을 정량적으로 평가하고, 수용률에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 분석하였다. 이를 위해, 기존 연구(BRS/HFES, 2003)에서 사용한 컴퓨터 워크스테이션 설계 관련 인체변수 10개를 격자 기법에 적용하여 모집단 인구분포 95%를 수용하는 대표인체모델 12개를 생성하였다. 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률은 설계허용공차 내에 포함된 모집단의 비율로 평가되었으며, 수용률 영향 요인에 대한 다중회귀분석을 통해 요인 별 수용률에 미치는 영향력이 분석되었다.

2. 평가 방법

2.1 컴퓨터 워크스테이션 설계

본 연구에서는 기존 연구를 참조하여 컴퓨터 워크스테이션 설계 관련 인체변수와 설계허용공차가 설정되었다. 인체변수는 컴퓨터 워크스테이션 설계 표준안인 BRS/HFES100(2002)에서 사용한 10개로 선정되었고(표 1 참조), 설계허용공차는 BRS/HFES100(2002)에서 적용한 설계 여유치수(allowance) 1~8.5cm를 참조하여 ± 2.5cm로 설정되었다.

본 연구의 대표인체모델 생성에는 US Army 인체측정자료가 사용되었다. US Army 인체측정자료(Gordon, 1988)에는 미군 3,987명(남자: 1,774; 여자: 2,213)에 대한 측정자료가 제공되어 있다. 본 연구는 공정한 평가를 위해 인체

표 1. 컴퓨터 워크스테이션 설계변수와 관련 인체변수

설계변수	Code	인체변수
좌판	AD1	앉은오금높이(Popliteal height)
	AD2	앉은엉덩이오금수평길이(Buttock-popliteal length)
	AD3	앉은엉덩이너비(Hip breadth)
팔걸이	AD4	앉은팔꿈치높이(Elbow rest height)
	AD3	앉은엉덩이너비(Hip breadth)
작업대	AD1	앉은오금높이(Popliteal height)
	AD5	앉은넙적다리높이(Thigh clearance)
	AD6	앉은엉덩이무릎수평길이(Buttock-knee length)
	AD7	앉은배두께(Abdominal extension depth)
다리공간	AD8	팔꿈치사이너비(Forearm-to-forearm breadth)
	AD3	앉은엉덩이너비(Hip breadth)
	AD6	앉은엉덩이무릎수평길이(Buttock-knee length)
	AD7	앉은배두께(Abdominal extension depth)
	AD1	앉은오금높이(Popliteal height)
	AD9	발직선길이(Foot length)
	AD5	앉은넙적다리높이(Thigh clearance)
	AD10	무릎높이(Knee height)

측정자료를 대표인체모델 생성 집단(2,982명)과 수용률 평가 집단(1,000명)으로 무작위로 나누어 사용하였다.

2.2 중요변수 설정

본 연구는 중요변수를 결정하기 위해 중요변수 개수 증가에 따른 인체변수와 중요변수 간의 평균 수정회귀결정계수(adjusted R^2)의 변화 추이를 분석하였다. 중요변수 개수에 따른 인체변수들 간 통계적 연관성을 분석하기 위해 회귀계수인 중요변수 후보를 1~9개로 변화시켜 가면서 다른 인체변수들과의 평균 수정회귀결정계수를 분석하였다(그림 4 참조). 중요변수 후보가 1개일 때를 예로 들면, 인체변수 1개를 중요변수 후보(예: AD1)로 지정하고 나머지 인체변수 9개(예: AD2~AD10)와의 회귀분석을 통해 수정회귀결정계수의 평균을 산출한다. 모든 인체변수를 한 번씩 중요변수 후보로 사용하여 평균 수정회귀결정계수를 분석한 후, 다른 인체변수들과 평균 수정회귀결정계수가 가장 큰 인체변수를 중요변수 1개를 사용할 때 가장 적합한 인체변수로 선정한다.

본 연구에서는 소수로 구성되면서 다른 인체변수들과 평균 수정회귀결정계수가 높은 인체변수 3개가 중요변수로 선

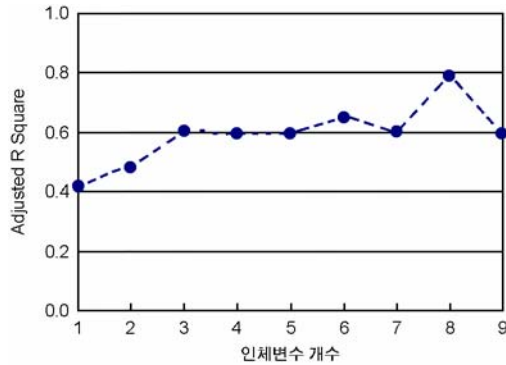


그림 4. 중요변수 개수에 따른 인체변수와 중요변수 간 평균 수정회귀계수(adjusted R^2) 변화 추이

정되었다. 중요변수 개수 증가에 따른 평균 수정회귀결정계수를 분석한 결과, 인체변수가 3개 이상일 때 평균 수정회귀계수 증가 추세가 완만해지는 것으로 분석되었다(그림 4 참조). 따라서, 본 연구는 소수로 구성되면서 상대적으로 평균 수정회귀결정계수가 0.6으로 높은 앉은오금높이(AD1), 앉은엉덩이오금수평길이(AD2), 앉은넙적다리높이(AD5)를 중요변수로 설정하였다.

2.3 수용률 평가 척도

본 연구에서는 제품 설계 대상 모집단 수용률을 대표인체 모델을 중심으로 설계허용공차 범위 내에 포함된 인구 비율로 정의하였다. 모집단 인구분포 수용률은 생성된 대표인체 모델을 중앙에 오도록 설계허용공차를 사용해 형성된 격자

내부에 포함된 사람수 대비 모집단 인구수 비율로 정의되었다. 인체변수가 2개이고 설계허용공차가 ± 2.5cm인 경우를 예로 들면, 앉은오금높이(AD1)가 35cm이고 앉은엉덩이오금수평길이(AD2)가 15cm인 대표인체모델이 수용하는 사람은 앉은오금높이(AD1)가 32.5~37.5cm 이내에 있고 앉은엉덩이오금수평길이(AD2)가 12.5~17.5cm 이내에 있게 된다.

본 연구에서 정의된 모집단 인구분포 수용률은 수용률 산출에 고려되는 인체변수 개수에 따라 상이해진다. 모집단 인구분포 수용률은 인체변수 별로 산출될 수 있을 뿐만 아니라, 두 개 이상의 인체변수에 대해서도 산출될 수 있다. 본 연구는 수용률 산출에 고려되는 인체변수의 개수를 증가시켜 가면서 생성된 대표인체모델의 모집단 인구분포 수용률을 분석하였다. 본 연구에서는 MATLAB 7.0을 사용하여 대표인체모델 생성 및 평가 프로그램을 개발하였다.

3. 결 과

본 연구에서는 컴퓨터 워크스테이션 설계를 위해 격자 기법을 적용하여 모집단 95%를 수용하도록 대표인체모델 12개가 생성되었다(표 2 참조). 대표인체모델은 그림 5와 같이 중요변수 측면에서 모집단의 95%를 포함하도록 생성되었다.

격자 기법으로 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률은 인체변수 개수가 증가할수록 현저하게 감소하는 경향을 보였다(그림 6 참조). 개별 인체변수에 대한 일변량 수용률은

표 2. 격자 기법을 이용하여 모집단 95%를 수용하도록 생성된 대표인체모델(cm)

순번	중요변수			중요변수에 의해 추정되는 인체변수						
	앉은오금 높이 (AD1)	앉은엉덩이 오금수평길이 (AD2)	앉은넙적 다리높이 (AD5)	앉은엉덩이 너비 (AD3)	앉은팔꿈치 높이 (AD4)	앉은엉덩이 무릎수평길이 (AD6)	앉은 배두께 (AD7)	팔꿈치 사이너비 (AD8)	발직선 길이 (AD9)	무릎높이 (AD10)
1	35	15	42	36	23	52	20	44	23	46
2	35	15	47	39	21	57	21	42	23	47
3	35	20	47	43	24	59	28	54	24	50
4	40	15	42	33	24	53	19	48	25	51
5	40	15	47	36	22	58	21	46	25	52
6	40	15	52	39	20	62	22	44	25	52
7	40	20	47	40	25	60	27	58	26	54
8	40	20	52	43	23	65	28	56	26	55
9	45	15	47	33	23	58	20	50	27	56
10	45	15	52	36	21	63	21	48	27	57
11	45	20	47	37	26	60	26	62	28	58
12	45	20	52	40	24	65	27	60	28	59

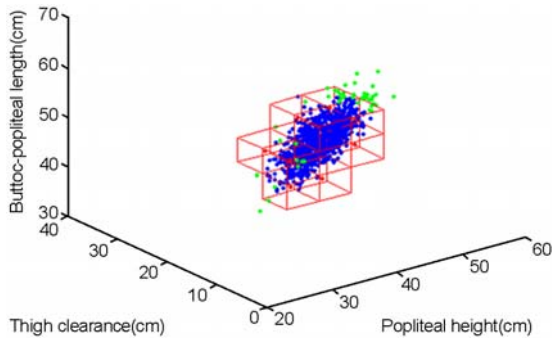


그림 5. 격자 기법을 적용하여 모집단 95%를 수용하도록 생성된 대표인체모델(단위: cm)

평균 99%로 목표 수용률 95%보다 높은 것으로 나타났으나, 인체변수의 개수가 증가할수록 수용률이 현저하게 감소하여 인체변수 10개에 대한 다변량 수용률은 10%로 분석되었다. 이러한 경향은 중요변수를 사용해 다른 인체변수들을 추정하기 때문에 발생하는 것으로 추정된다.

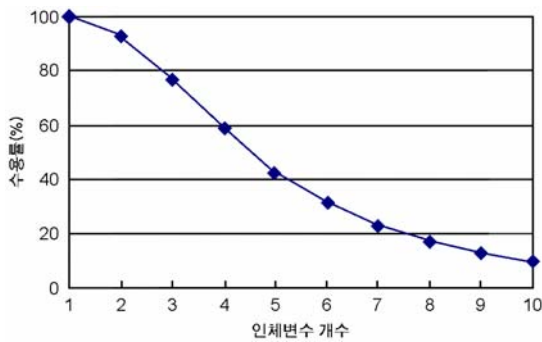


그림 6. 인체변수 개수 증가에 따른 수용률 변화 추이

생성된 대표인체모델에 대한 체계적 분석을 통해 모집단 수용률에 영향을 미치는 세 가지 요인(대표격자 겹침, 중요변수와 다른 인체변수 간 상관관계, 인체변수 범위)이 파악되었다. 첫째, 중요변수 측면에서는 생성된 대표격자가 겹치지 않으나(그림 5 참조), 중요변수에 의해 추정되는 다른 인체변수는 대표격자들이 겹치게 되어 인구분포를 수용하는 면적이 줄어 모집단 수용률이 감소하게 된다. 예를 들어, 대표격자의 중첩 영역이 0cm³인 앉은오금높이(AD1), 앉은엉덩이오금수평길이(AD2), 그리고 앉은넓적다리높이(AD5)에 대한 수용률은 95%이나, 중첩 영역이 547cm³인 앉은팔꿈치높이(AD4), 팔꿈치사이너비(AD8), 그리고 발직선길이(AD9)의 수용률은 73%로 감소하게 된다. 둘째, 중요변수와 다른 인체변수 간 상관관계가 낮으면 적합한 추정이 이루어지지 않아 수용률이 감소하게 된다. 예를 들어, 중요변수와 평균 수정회귀결정계수가 0.89로 높은 앉은엉덩이무릎

평길(AD6), 발길이(AD9), 그리고 무릎높이(AD10)의 수용률은 98%이나, 평균 수정회귀결정계수가 0.32로 상대적으로 낮은 앉은엉덩이너비(AD3), 앉은팔꿈치높이(AD4), 앉은배두께(AD7)의 수용률은 65%로 낮아지게 된다. 마지막으로, 인체변수들의 범위가 크면 대표인체모델이 수용해야 하는 범위가 증가하여 수용률이 감소하게 된다. 예를 들어, 인체변수 범위 합이 38cm로 작은 앉은팔꿈치높이(AD4), 앉은넓적다리높이(AD5), 그리고 발길이(AD9)의 수용률은 86%이나, 인체변수 범위 합이 82cm로 큰 앉은엉덩이무릎수평길이(AD6), 팔꿈치사이너비(AD8), 그리고 무릎높이(AD10)의 수용률은 48%로 낮아지게 된다.

상기 세 가지 요인의 수용률 영향 정도를 다중회귀분석으로 분석한 결과, 중요변수와 다른 인체변수 간 상관관계, 대표격자 겹침, 인체변수 범위 순으로 수용률에 높은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 다중회귀분석으로 수립된 회귀계수를 이용하여 수용률 영향 정도를 분석하기 위해 수용률 영향 요인들은 0~1 사이로 표준화하였다. 예를 들어, 대표격자 겹침 면적은 4.5~2365.5cm³의 범위를 가지는데 최소면적인 4.5cm³가 0이 되고 최대 면적인 2365.5cm³가 1이 되도록 (겹침면적-4.5)/(2365.5-4.5)를 이용하여 표준화되었다. 수용률 영향 요인 3개를 독립변수로 하는 다중회귀식은 stepwise regression 분석($p_{in}=0.05$, $p_{out}=0.10$)을 통해 식 1과 같이 수립되었다. 회귀모형의 수정회귀결정계수가 0.85로 분석되어 수용률 영향 요인과 모집단 수용률 간에는 높은 통계적 연관성이 있음이 파악되었다. 수용률 영향력은 중요변수와 다른 인체변수 간 평균 수정회귀결정계수(0.552), 대표격자 겹침 면적(0.398), 인체변수 범위(0.201) 순으로 높게 나타났다.

$$\text{Accommodation \%} = 0.565 - 0.398 \times \text{RA} + 0.552 \times \text{AR} - 0.201 \times \text{SR} \quad (\text{식 } 1)$$

$$(\text{MSE} = 0.0047, \text{adjusted } R^2 = 0.85, C_p = 4.0)$$

where: RA = redundant area

AR = adjusted R^2

SR = sum of ranges

4. 토 의

본 연구에서는 모집단 인구분포 전반에 산포된 대표인체 모델을 생성하는 격자 기법의 모집단 수용률을 정량적으로 평가하는 방법을 개발하였다. 격자 기법을 이용한 기존 연구들은 중요변수와 이를 이용하여 추정되는 다른 인체변수와의 통계적 연관성이 낮으면 지정된 모집단 인구분포 수용률을 충족할 수 없는 한계점을 지적하고 있으나(McCulloch

et al., 1998), 격자 기법으로 생성된 대표인체모델의 모집단 수용률에 대한 정량적 평가는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 생성된 대표인체모델을 중심으로 설계허용공차 범위 내에 포함된 인구의 비율로 모집단 수용률을 정량화하였다. 본 연구에서 사용한 수용률 척도는 인체변수의 개수에 관계 없이 적용할 수 있어 설계 관련 인체변수의 증가에 따른 수용률 영향을 분석할 수 있다.

격자 기법으로 생성된 대표인체모델은 모집단의 인체크기 특성을 적합하게 반영하지 못하는 것으로 분석되어 이를 보완하는 새로운 기법의 개발이 요구됨이 파악되었다. 격자 기법은 인체변수 개수가 증가할수록 모집단 수용률이 현저하게 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 수용률 저하의 주요 원인은 중요변수를 사용해 상관관계가 낮은 인체변수의 크기를 추정하기 때문에 발생하는 것으로 분석되었다.

추정에 의한 오차를 최소화하기 위해 설계 관련 인체변수 모듈을 동시에 고려한 격자 기법을 이용하여 대표인체모델을 생성할 수 있으나, 인체변수의 개수가 많아지면 대표인체모델의 개수가 증가하여 설계 및 평가에의 적용이 어려워질 수 있다. 인체변수를 중요변수로 축소시키지 않고, 본 연구에서 사용한 인체변수 10개에 대해 격자 기법으로 대표인체모델을 생성한 결과, 모집단 95%를 수용하기 위해 대표인체모델 1,082개가 필요한 것으로 분석되었다. 대표인체모델은 모집단 인구분포를 적합하게 대표하는 것이 중요하나, 소수로 구성되어야만 제품 설계 및 평가에 효율적으로 적용될 수 있다.

격자 기법에서 설계허용공차는 중요한 요소이다. 설계허용공차는 설계 대상에 따라 생산 경제성과 인체 적합성을 고려하여 설정되는 것이 바람직하다(문명옥, 2002). 인체 적합성을 최적화하기 위해서는 설계허용공차를 작게 설정해야 하나, 설계허용공차를 너무 작게 설정하면 대표인체모델의 개수가 증가하여 인체측정자료의 제품 설계 및 평가 적용이 어려워진다. 본 연구에서는 기존 연구를 참조하여 모든 인체변수에 동일하게 설계허용공차를 $\pm 2.5\text{cm}$ 로 설정하였으나, 설계 대상에 따라 인체변수 별 상이한 설계허용공차가 적용될 수 있다.

후속 연구로 본 연구에서 사용한 수용률 평가 방법을 이용하여 기존 대표인체모델 생성 기법들의 성능을 비교 평가하는 연구가 필요하다. 기존 연구들은 통계적 및 최적화 기법을 응용하여 모집단 인구분포 전반에서 산포된 대표인체모델을 생성하는 다양한 기법들을 제안하고 있다. 예를 들어, Laing et al. (1999)과 Eynard et al. (2000)은 군집분석을 적용하여 대상 인구를 신체유형으로 구분한 후 각 신체유형에서 대표인체모델을 한 명씩 생성하였고, McCulloch et al. (1998)은 최적화 기법을 이용하여 모집단 인구분포 전반에서 지정된 개수의 대표인체모델을 사용하여 최대의 수용률을 달성하는 대표인체모델을 생성하였다. 그러나, 현재까지

이들 기법에 의해 생성된 대표인체모델의 모집단 인구분포 수용률에 대한 평가는 전무한 실정이다.

참고 문헌

- 권오채, 정기효, 선미선, 유희천, 김희은. 손 측정변수들 간의 연관성 분석을 이용한 장갑설계의 중요변수 결정 및 장갑치수 체계 적용. *대한인간공학회지*, 23(3), 25-38, 2004.
- 문명옥. 하의 치수 체계에 관한 연구(만 19~24세를 중심으로). *한국 의류학회지*, 26(7), 1036-1042, 2002.
- Bittner, A. C., "A-CADRE: Advanced family of manikins for workstation design". *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*. San Diego, CA, 774-777, 2000.
- BRS/HFES100. *Draft Standard for Trial Use: Human Factors Engineering of Computer Workstations*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 2002.
- Eynard, E., Fubini, E., Masali, M., Cerrone, M. and Tarzia, A., "Generation of virtual man models representative of different body proportion and application to ergonomic design of vehicles". *Proceedings of the IEA2000/HFES2000 Congress*. San Diego, CA, 489-492, 2000.
- Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I. and Walker, R. *1988 Anthropometric Survey of US Army Personnel: Methods and Summary Statistics* (Technical Report NATICK/TR-89/044). US Army Natick Research Center: Natick, MA, 1988.
- Gordon, C. C. and Friedl, K. E., *Anthropometry in the US Armed forces*. In Ulijaszek SJ (ed.). *Anthropometry: The individual and the population*. Cambridge University Press: Cambridge UK, 1994.
- Hidson, D., *Development of a Standard Anthropometric Dimension Set for Use in Computer-aided Glove Design*. DREO technical note 91-22. Defence Research Establishment OTTAWA, 1991.
- Laing, R. M., Holland, E. J., Wilson, C. A. and Niven, B. E. Development of sizing systems for protective clothing for the adult male. *Ergonomics*, 42(10), 1249-1257, 1999.
- McCulloch, C. E., Paal, B. and Ashdown, S. P., An optimization approach to apparel sizing. *Journal of the Operational Research Society*, 49, 492-299, 1998.
- Robinette, K. M. and Annis, J. F., *A Nine-Size System for Chemical Defense Gloves*. Technical Report (AAMRL-TR-86-029) (ADA173 193). Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH, 1986.
- Roebuck, J. A. Jr. "Anthropometric Methods: Designing to Fit the Human Body". Santa Monica, CA: *Human Factors and Ergonomics Society*, 1993.
- Rosenblad-Wallin, E., An anthropometric study as the basis for sizing anatomically designed mittens. *Applied Ergonomics*, 18(4), 329-333, 1987.
- You, H., Buccigaglia, J., Lowe, B. D., Gilmore, B. J. and Freivalds, A. An ergonomic design process for a US transit bus operator workstation. *Heavy Vehicle Systems, A Series of the International Journal of*

Vehicle Design, 4(2-4), 91-107, 1997

Zehner, G. F., Cockpit anthropometric accommodation and the JPATS program. *Safe Journal*, 26(3), 19-24, 1996.

● 저자 소개 ●

❖ 정 기 효 ❖ khjung@postech.ac.kr

포항공과대학교 산업공학과 석사

현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정

관심분야: 인체측정학적 제품 설계, 직업성 근골격계질환 예방, 혁신 제품 개발 프로세스

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr

미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학과 박사

현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 조교수

관심분야: 인간공학적 제품설계 기술, 사용자 중심의 제품설계, 가상 환경 기반 인간공학적 제품 설계 및 평가, 사용성 공학, 근골격계질환 예방 및 통제

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 09월 30일

논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 01월 30일

논문제재승인일 (Date Accepted) : 2007년 02월 10일